

(19)



(11)

EP 2 688 137 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:

22.01.2014 Bulletin 2014/04

(51) Int Cl.:

H01P 1/203 ^(2006.01)**H01P 7/08** ^(2006.01)(21) Numéro de dépôt: **13175860.9**(22) Date de dépôt: **10.07.2013**

(84) Etats contractants désignés:

**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

Etats d'extension désignés:

BA ME• **Fouin, Patrick****35770 Vern sur Seiche (FR)**• **Haquet, Gérard****35220 Chateaubourg (FR)**• **Peyresoubes, Georges****49300 Cholet (FR)**(30) Priorité: **20.07.2012 FR 1202065**(71) Demandeur: **Thales****92200 Neuilly Sur Seine (FR)**(74) Mandataire: **Lucas, Laurent Jacques****Marks & Clerk France****Conseils en Propriété Industrielle****Immeuble Visium****22, Avenue Aristide Briand****94117 Arcueil Cedex (FR)**

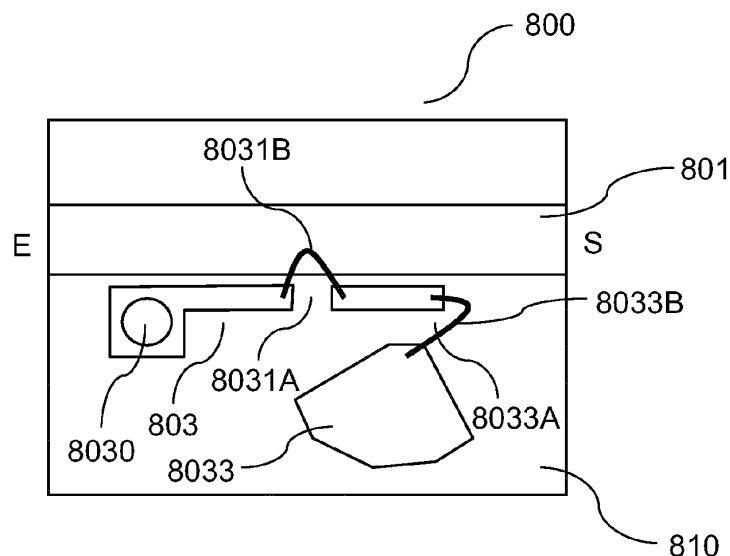
(72) Inventeurs:

• **Denis, Stéphane****35340 La Bouexière (FR)**

(54) **Résonateur hyperfréquence a saut d'impédance, notamment pour filtres hyperfréquence coupe-bande ou passe-bande**

(57) Résonateur hyperfréquence à saut d'impédance (803), comprenant au moins une ligne à haute impédance caractéristique (8031) d'une longueur déterminée et une ligne de basse impédance caractéristique (8033), caractérisé en ce que au moins la ligne de haute impédance caractéristique (8031) comprend une première

coupure de ligne (8031A), un premier fil de liaison (8031 B) d'une première impédance déterminée assurant une liaison électrique pour le passage du signal de part et d'autre de la première coupure de ligne (8031A). La présente invention a également pour objet un procédé de réalisation d'un résonateur hyperfréquence comprenant une étape de réglage (1205).

**FIG.8****EP 2 688 137 A1**

Description

[0001] La présente invention concerne des résonateurs hyperfréquence à saut d'impédance. De tels résonateurs peuvent notamment être compris dans des filtres hyperfréquence, par exemple des filtres hyperfréquence de type réjecteur ou coupe-bande, ou bien de type passe-bande.

[0002] Les dispositifs fonctionnant dans des bandes de fréquences dites hyperfréquences utilisent typiquement des filtres hyperfréquence. Parmi les filtres hyperfréquence, il existe notamment des filtres de type réjecteur ou « coupe-bande », dont la fonction est de rejeter des signaux dont la fréquence est comprise dans une bande de fréquences déterminée, ainsi que des filtres dits « passe-bande », ne laissant passer que des signaux dont la fréquence est comprise dans une bande de fréquences déterminée.

[0003] Les filtres hyperfréquence peuvent comprendre des lignes de transmission planaires et des résonateurs formés par des composants discrets tels que des auto-inductances et des condensateurs. Les filtres hyperfréquence sont contraints par les tolérances des éléments qui les constituent, notamment l'épaisseur du substrat sur lequel sont réalisées les lignes de transmission, la permittivité et la perméabilité du substrat, ainsi que par les tolérances de performances des composants discrets utilisés. La variabilité de l'ensemble des paramètres précités peut conduire à des rendements de fabrication insuffisants ou à des performances globales trop aléatoires, plus particulièrement dans les cas suivants :

- lorsque les filtres hyperfréquence présentent une ou plusieurs bandes de fréquences coupées à basse fréquence, situées dans une bande passante globale relativement large, ce premier cas étant illustré par la figure 1 décrite en détails ci-après ;
- lorsque les filtres hyperfréquence sont intégrés dans des structures de substrats multicouches, notamment dans le cas où les filtres sont intégrés dans un sous-système monolithique comprenant en outre un grand nombre d'éléments. Dans un tel cas, un filtre dont les performances se situent en dehors des spécifications souhaitées implique la mise au rebut du sous-système complet, et partant un rendement de fabrication réduit. Lorsqu'une pluralité de filtres hyperfréquences sont intégrés dans un même module, la réduction du rendement de fabrication est d'autant plus critique ;
- lorsque les filtres hyperfréquence comprennent des via. Un tel cas se présente particulièrement lorsque les filtres hyperfréquence comprennent des résonateurs dont une extrémité est court-circuitée vers une masse, ainsi que cela est le cas pour les filtres hyperfréquence faisant l'objet de la présente invention ;
- lorsque les filtres sont des filtres hyperfréquence

compacts réalisés sur des substrats à forte permittivité et/ou perméabilité, particulièrement sensibles aux tolérances de réalisation et aux paramètres électriques tels que la permittivité et la perméabilité ;

- lorsque les filtres hyperfréquence sont utilisés dans des systèmes pour lesquels il est nécessaire d'effectuer un réglage du filtre dans son contexte applicatif ;
- lorsque les filtres hyperfréquence forment des multiplexeurs.

[0004] Un problème majeur dans le cadre de la conception de filtres hyperfréquence se présente lorsque les bandes coupées sont situées à des fréquences relativement basses au regard des fréquences les plus hautes que le filtre hyperfréquence doit laisser passer, c'est-à-dire la fréquence de coupure haute de la bande passante globale du filtre. Pour la suite, on désigne par le terme « fréquence de résonance fondamentale », la première fréquence de résonance d'un résonateur hyperfréquence autour de laquelle se situe la bande coupée dans le cas d'un filtre coupe-bande, ou d'une manière similaire la bande passante dans le cas d'un filtre passe-bande, les fréquences de résonance suivantes déterminant la bande passante globale du filtre.

[0005] Dans le but de réaliser un filtre hyperfréquence, par exemple de type réjecteur, présentant une bande de fréquences coupée étroite et à relativement basse fréquence, dans une large bande passante globale, il est possible selon des techniques en elles-mêmes connues de réaliser le filtre hyperfréquence au moyen d'une technologie dite « mixte », c'est-à-dire d'une part avec des éléments localisés, typiquement de condensateurs et/ou des auto-inductances, et d'autre part des éléments distribués : typiquement des lignes parallèles couplées, ainsi que cela est illustré par la figure 4, décrite en détails ci-après. Les auto-inductances et condensateurs utilisés peuvent être des composants de type « CMS », le sigle désignant les termes « Composant Monté en Surface ». Les auto-inductances de type CMS disponibles ont typiquement des fréquences de résonance, des coefficients de qualité et des tolérances insuffisants. Egalement, dans une moindre mesure, les condensateurs de type CMS présentent typiquement les mêmes inconvénients. Les auto-inductances se présentant sous la forme de bobines à air offrent de meilleures performances que leurs homologues monolithiques de type CMS, mais présentent des problèmes liés à une mise en oeuvre délicate : c'est-à-dire un report et un placement délicats, ainsi que des problèmes de performances liés à des phénomènes de micro-phonie, c'est-à-dire par lesquels des vibrations de la structure peuvent entraîner un déplacement des spires de la bobine, et partant la génération par celle-ci de signaux parasites.

[0006] Les performances de telles structures mixtes sont en outre limitées dans le domaine des hautes fréquences, notamment par les composants localisés. Par ailleurs, les tolérances de ces composants et leur mise

en oeuvre introduisent des dispersions importantes dans les performances du filtre hyperfréquence. Ces dispersions en limitent les performances et peuvent conduire à des rendements de fabrication insuffisants.

[0007] Selon une autre technique en elle-même connue, les filtres hyperfréquence peuvent être réalisés sans éléments localisés discrets tels que des auto-inductance ou condensateurs CMS. Selon cette technique, les filtres hyperfréquence peuvent comprendre des résonateurs dits à saut d'impédance, communément désignés par l'acronyme SIR correspondant à la terminologie anglaise « Stepped Impedance Resonator ». De tels résonateurs présentent typiquement des fréquences de résonance supérieures à la fréquence de résonance fondamentale, différentes de multiples de cette fréquence fondamentale. De tels résonateurs sont illustrés par la figure 7, décrite en détails ci-après.

[0008] Un résonateur dit « invariant », c'est-à-dire sans saut d'impédance caractéristique, constitué d'un tronçon de ligne dit « demi-onde », c'est-à-dire délimité par deux courts-circuits ou par deux circuits ouverts, a une fréquence de résonance fondamentale f_0 , et des fréquences de résonance supérieures égales aux multiples de la fréquence de résonance fondamentale F_0 , soit $2F_0$, $3F_0$, etc., ainsi que cela est illustré par la figure 5, décrite ci-après.

[0009] Un résonateur de type invariant constitué d'un simple tronçon de ligne dit « quart-d'onde », c'est-à-dire délimité par un court-circuit et un circuit ouvert, a une première fréquence de résonance f_0 , et des fréquences de résonance supérieures égales aux multiples impairs de la première fréquence de résonance F_0 , soit $3F_0$, $5F_0$, etc., ainsi que cela est illustré par la figure 6, décrite ci-après. Chacune des fréquences de résonance supérieures se traduit par des « répliques » de la réponse fondamentale, c'est-à-dire des bandes passantes ou des bandes coupées parasites, suivant le type de réponse du filtre.

[0010] Un résonateur SIR de type dit « quart-d'onde » à deux sections tel qu'illustré par la figure 7 permet d'écarter la première fréquence de résonance f_0 et la deuxième fréquence de résonance notée F_{res2} . La deuxième fréquence de résonance est alors typiquement bien supérieure à $3f_0$. La deuxième fréquence de résonance est d'autant plus haute que le rapport d'impédance caractéristique des deux tronçons du résonateur est élevé.

[0011] Toutefois, les technologies de lignes planaires présentent des limites d'impédances caractéristiques minimales et maximales réalisables qui limitent le rapport entre la deuxième fréquence de résonance et la première fréquence de résonance F_{res2}/F_0 , et par conséquent la bande passante du filtre hyperfréquence, notée BPG.

[0012] De plus, les résonateurs SIR sont sensibles aux tolérances de fabrication et aux tolérances des matériaux utilisés.

[0013] La présente invention a pour but de pallier les inconvénients précités, en proposant des filtres hyper-

fréquence coupe-bande comprenant des moyens de réglage permettant une meilleure maîtrise de leurs performances.

[0014] A cet effet, l'invention a pour objet un résonateur hyperfréquence à saut d'impédance, comprenant au moins une ligne à haute impédance caractéristique d'une longueur déterminée et une ligne de basse impédance caractéristique, au moins la ligne de haute impédance caractéristique comprenant une première coupure de ligne, un premier fil de liaison d'une longueur déterminée assurant une impédance déterminée au niveau de la première coupure de ligne, ladite première coupure de ligne étant réalisée sensiblement au tiers de la longueur totale du résonateur hyperfréquence partant du côté d'une extrémité de la ligne de haute impédance caractéristique opposée à l'extrémité de la ligne de haute impédance caractéristique située du côté de la ligne de basse impédance caractéristique.

[0015] Dans un mode de réalisation de l'invention, le résonateur hyperfréquence peut comprendre une deuxième coupure de ligne, un deuxième fil de liaison d'une deuxième impédance déterminée assurant une liaison électrique pour le passage du signal de part et d'autre de la deuxième coupure de ligne.

[0016] Dans un mode de réalisation de l'invention, la deuxième coupure de ligne peut être située entre une ligne à haute impédance caractéristique et une ligne à basse impédance caractéristique.

[0017] Dans un mode de réalisation de l'invention, la première coupure de ligne peut être réalisée sensiblement à mi-longueur de la ligne à haute impédance caractéristique.

[0018] Dans un mode de réalisation de l'invention, ladite au moins une ligne à haute impédance caractéristique et une ligne de basse impédance caractéristique peuvent être réalisées sous la forme de pistes métalliques imprimées sur un substrat, sous la forme de tronçons de lignes planaires de type ruban ou micro-ruban.

[0019] Dans un mode de réalisation de l'invention, la ligne de basse impédance caractéristique peut être formée par un stub de type papillon.

[0020] Dans un mode de réalisation de l'invention, la ligne de basse impédance caractéristique peut être formée par un condensateur monté en surface du substrat, dont une première armature est connectée audit deuxième fil de liaison, et une seconde armature est reliée à une électrode de référence.

[0021] Dans un mode de réalisation de l'invention, la ligne de basse impédance caractéristique, la ligne de haute impédance caractéristique et le condensateur peuvent être situés sur une face supérieure du substrat, l'électrode de référence étant une électrode de masse située sur une face inférieure du substrat, ladite seconde armature du condensateur étant connectée à l'électrode de référence au moyen d'un via traversant le substrat.

[0022] Dans un mode de réalisation de l'invention, le résonateur hyperfréquence peut être réalisé dans une structure de type multicouches réalisée dans le substrat,

le condensateur étant intégré à la structure multicouches.

[0023] La présente invention a également pour objet un filtre hyperfréquence de type réjecteur de bande, **caractérisé en ce qu'il** comprend une ligne de transmission, couplée à une pluralité de résonateurs hyperfréquence suivant l'un quelconque des modes de réalisation décrits.

[0024] La présente invention a également pour objet un procédé de réalisation d'un résonateur hyperfréquence ou d'un filtre hyperfréquence suivant l'un quelconque des modes de réalisation décrits, **caractérisé en ce qu'il** comprend un enchaînement d'au moins les étapes suivantes :

- une première étape de réalisation d'une structure comprenant ladite au moins une ligne de haute impédance caractéristique, ladite au moins une ligne de basse impédance caractéristique, et au moins une coupure de ligne,
- une deuxième étape de caractérisation des performances de la structure réalisée à la première étape,
- une troisième étape de réglage au cours de laquelle les spécifications d'au moins un fils de liaison sont définies en fonction des résultats de la caractérisation effectuée lors de la deuxième étape et en fonction des spécifications de performances du résonateur hyperfréquence escomptées,
- une étape de réalisation du câblage lors de laquelle est réalisé le câblage des fils de liaison suivant les spécifications définies à la troisième étape sur la structure réalisée à la première étape.

[0025] La structure de filtre hyperfréquence proposée par la présente invention met en oeuvre des résonateurs SIR d'une manière avantageuse permettant à la fois d'optimiser et d'élargir la bande passante, et de régler en phase de production la bande coupée du filtre coupe-bande.

[0026] Un filtre hyperfréquence selon les modes de réalisation de la présente invention présente en outre l'avantage de pouvoir être réalisé par des moyens conventionnels de fabrication communément utilisés dans le domaine de la microélectronique, tels que la pose de fils et/ou de rubans conducteurs de longueur déroulée et de position maîtrisées. La réponse du filtre peut être ajustée en faisant varier les dimensions et les points d'attache des fils et/ou des rubans conducteurs.

[0027] Cette méthode de réglage est particulièrement adaptée aux forts volumes de production car elle peut être totalement automatisée.

[0028] Cette méthode de réglage permet également d'ajuster la réponse du filtre hyperfréquence au plus près du besoin, avec des dispersions résiduelles très faibles liées aux matériaux et à la réalisation.

[0029] Cette méthode de réglage permet également d'ajuster le filtrage in situ, c'est à dire en fonction des caractéristiques de l'environnement du filtre hyperfréquence, voire en fonction de plusieurs applications en-

visagées, plusieurs fonctions de filtrage étant réalisables à partir d'une même structure de filtre hyperfréquence.

[0030] Un autre avantage de la présente invention est lié au fait que les performances de réponse d'un filtre hyperfréquence selon la présente invention peuvent être ajustées après intégration de l'ensemble, permettant notamment de libérer les tolérances et contraintes de fabrication pour une pluralité d'étapes de réalisation du filtre hyperfréquence.

[0031] Un autre avantage de la présente invention est qu'elle permet d'obtenir des rapports d'impédances plus élevés que sur des résonateurs à saut d'impédance connus, et ainsi d'obtenir des performances de filtrage optimisées.

[0032] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description, donnée à titre d'exemple, faite en regard des dessins annexés qui représentent :

- la figure 1, une courbe caractérisant les performances typiques d'un filtre coupe-bande connu de l'état de la technique ;
- la figure 2, un schéma illustrant de manière simplifiée la structure d'un exemple de filtre coupe-bande à résonateurs de type quart d'onde connu de l'état de la technique ;
- la figure 3, un schéma illustrant de manière simplifiée la structure d'un premier exemple alternatif de filtre coupe-bande à résonateurs de type quart d'onde connu de l'état de la technique ;
- la figure 4, un schéma illustrant de manière simplifiée la structure d'un second exemple alternatif de filtre coupe-bande à résonateurs de type mixte connu de l'état de la technique ;
- la figure 5, une courbe caractérisant les performances typiques d'un filtre coupe-bande à résonateurs de type demi-onde connu de l'état de la technique ;
- la figure 6, une courbe caractérisant les performances typiques d'un filtre coupe-bande à résonateurs de type quart d'onde connu de l'état de la technique ;
- la figure 7, un schéma illustrant de manière simplifiée la structure d'un résonateur SIR de type quart d'onde, en elle-même connue de l'état de la technique ;
- la figure 8, un schéma illustrant la structure d'une cellule pour filtre hyperfréquence comprenant un résonateur selon un exemple de réalisation de la présente invention ;
- la figure 9, un schéma illustrant de manière simplifiée un filtre hyperfréquence comprenant une pluralité de cellules pour filtre hyperfréquence suivant un mode de réalisation alternatif de la présente invention ;
- la figure 10, un schéma illustrant la structure d'un filtre hyperfréquence coupe-bande comprenant une pluralité de résonateurs selon un exemple de réalisation de la présente invention ;
- la figure 11, des courbes caractérisant les performances d'un exemple de filtre hyperfréquence coupe-bande tel qu'illustré par la figure 10 ;

- la figure 12, un diagramme illustrant un procédé de réalisation d'un résonateur hyperfréquence, dans un exemple de réalisation de la présente invention.

[0033] Les filtres hyperfréquence faisant l'objet de la présente invention peuvent comprendre des lignes parallèles couplées avec des résonateurs de type quart d'onde tels qu'illustrés par les figures 2 et 3. Par rapport à d'autres technologies de filtres coupe-bande, telles que les technologies des filtres à ondes acoustiques de surface, communément désignés par l'acronyme SAW correspondant à la terminologie anglaise « Surface Acoustic Wave », ou à ondes acoustiques de volume, communément désignés par l'acronyme BAW correspondant à la terminologie anglaise « Bulk Acoustic Wave », de tels filtres hyperfréquences présentent l'avantage d'offrir des pertes d'insertion plus faibles, des tenues en puissance plus élevées et la possibilité de fonctionner à de plus hautes fréquences.

[0034] Par rapport à des filtres coupe-bande constitués de cavités ou de résonateurs coaxiaux, ces filtres présentent l'avantage d'offrir un encombrement et un poids réduits.

[0035] Les modes de réalisation de la présente invention décrits ci-après sont basés sur des lignes de type micro-ruban, réalisées de façon classique sur un substrat unique ou bien intégrées dans un empilage de substrats, par exemple dans une technologie de type tri-plaque, ou bien réalisées sur un substrat suspendu. Il est à observer que la présente invention s'applique de façon similaire aux autres technologies de réalisation connues.

[0036] Il est à observer également que les exemples de réalisation décrits ci-après s'appliquant à des filtres hyperfréquence coupe-bande peuvent être transposés à des filtres hyperfréquences passe-bande.

[0037] La figure 1 présente une courbe caractérisant les performances typiques d'un filtre coupe-bande connu de l'état de la technique.

[0038] La courbe illustrée par la figure 1 est représentée dans un repère cartésien dont l'axe des ordonnées porte les pertes d'insertion, par exemple exprimées en dB, et l'axe des abscisses porte les fréquences. La courbe représentée est caractéristique d'un filtre coupe-bande dont la bande coupée est dans l'exemple illustré une bande étroite autour d'une fréquence de résonance fondamentale F0. Le filtre offre une première bande passante BP1 comprenant les fréquences en-deçà de la fréquence de résonance fondamentale F0, et une deuxième bande passante BP2 comprenant les fréquences au-delà de la fréquence de résonance fondamentale F0, et en-deçà d'une fréquence de résonance Fres2. Les fréquences en-deçà de la fréquence de résonance Fres2 définissent ainsi une bande passante globale BPG du filtre. La fréquence Fres2 est une fréquence de résonance parasite, et il est souhaitable que celle-ci soit la plus éloignée possible de la fréquence de résonance fondamentale F0. Il est ainsi un des problèmes techniques que la présente invention propose de résoudre, à savoir de

maximiser la deuxième bande passante BP2, la bande passante globale BPG, et le rapport entre la fréquence de résonance Fres2 et la fréquence de résonance fondamentale F0, soit : $Fres2/F0$.

[0039] La figure 2 présente un schéma illustrant de manière simplifiée la structure d'un exemple de filtre coupe-bande à résonateurs de type quart d'onde connu de l'état de la technique.

[0040] Un filtre coupe-bande 200 comprend une ligne de transmission 201 planaire comprenant une entrée E et une sortie S, entre lesquelles circule un signal hyperfréquence. Une pluralité de résonateurs 203, trois dans l'exemple illustré par la figure 2, sont disposés en parallèle de la ligne de transmission 201, ainsi couplés à cette dernière. D'une manière typique, la ligne de transmission 201 peut présenter une impédance de 50 Ohms.

[0041] La structure de filtre illustrée par la figure 2 est simplifiée : notamment, les résonateurs 203 sont disposés de manière linéaire, en parallèle d'une ligne de transmission rectiligne. En pratique, la ligne de transmission 201 peut être formée par une pluralité de tronçons de ligne, par exemple perpendiculaires les uns aux autres, et dont les longueurs sont choisies de manière à définir les caractéristiques du filtre. Des résonateurs sont alors disposés en parallèle de certains tronçons de ligne.

[0042] Dans l'exemple illustré par la figure, les résonateurs 203 sont des résonateurs de type quart d'onde. Une portion de la ligne de transmission 201 couplée à un résonateur peut être désignée « cellule » pour filtre hyperfréquence. Les caractéristiques des différents résonateurs formant un filtre sont choisies de manière à définir la bande coupée du filtre, ou d'une manière similaire la bande passante lorsque le filtre est un filtre passe-bande. Des résonateurs peuvent par exemple présenter des fréquences de résonance égales de manière à améliorer la réjection dans une bande très fine autour de cette fréquence de résonance ; des résonateurs peuvent avoir des fréquences de résonance légèrement différentes de manière à élargir la bande de fréquences rejetées, etc., selon des configurations en elles-mêmes connues de l'homme du métier. Les résonateurs 203 peuvent être formés par des tronçons de ligne, dont une extrémité est reliée à une plage, la plage étant reliée à un via 2030 permettant d'établir un court-circuit avec une électrode de référence, par exemple une électrode de masse.

[0043] La ligne de transmission 201 et les résonateurs 203 peuvent être réalisés par métallisation sur une face supérieure d'un substrat 210, l'électrode de masse étant par exemple réalisée par une métallisation sur la face inférieure du substrat 210.

[0044] La figure 3 présente un schéma illustrant de manière simplifiée la structure d'un premier exemple alternatif de filtre coupe-bande à résonateurs de type quart d'onde connu de l'état de la technique.

[0045] D'une manière similaire à la structure illustrée par la figure 2 décrite ci-dessus, un filtre hyperfréquence 300 peut être formé par une ligne de transmission 301 comprenant une entrée E et une sortie S, et une pluralité

de résonateurs 303, trois dans l'exemple illustré par la figure 3, réalisés sur un substrat 310. A la différence de la structure illustrée par la figure 2, les résonateurs 303 peuvent être formés par des éperons, communément désignés par la terminologie anglaise « spurlines », directement insérés dans la ligne de transmission 301.

[0046] La figure 4 présente un schéma illustrant de manière simplifiée la structure d'un second exemple alternatif de filtre coupe-bande à résonateurs de type mixte connu de l'état de la technique.

[0047] Un résonateur est dit de type mixte lorsqu'il est constitué d'une ligne de transmission et d'éléments localisés. D'une manière similaire à la structure illustrée par la figure 3 décrite ci-dessus, un filtre hyperfréquence 400 peut être formé par une ligne de transmission 401 comprenant une entrée E et une sortie S, et une pluralité de résonateurs 403, trois dans l'exemple illustré par la figure 4, réalisés sur un substrat 410. Dans l'exemple illustré par la figure 4, les résonateurs 403 peuvent être formés par des tronçons de lignes disposés en parallèle de la ligne de transmission 401, et reliés à la ligne de transmission 401 via des résonateurs formés par des composants discrets montés en série, typiquement une auto-inductance L et un condensateur C.

[0048] La figure 5 présente une courbe caractérisant les performances typiques d'un filtre coupe-bande à résonateurs de type demi-onde connu de l'état de la technique.

[0049] D'une manière similaire à la courbe présentée par la figure 1 décrite précédemment, la courbe illustrée par la figure 5 est représentée dans un repère cartésien dont l'axe des ordonnées porte les pertes d'insertion, par exemple exprimées en dB, et l'axe des abscisses porte les fréquences. La courbe représentée est caractéristique d'un filtre coupe-bande dont la bande coupée est dans l'exemple illustré une bande étroite autour d'une fréquence de résonance fondamentale F_0 . Ainsi que cela est décrit précédemment, un tel filtre hyperfréquence présente une fréquence de résonance fondamentale F_0 , et des fréquences de résonance supérieures égales aux multiples de la fréquence de résonance fondamentale F_0 , soit $2F_0$, $3F_0$, $4F_0$, $5F_0$, etc. Ainsi la fréquence de résonance F_{res2} délimitant la bande passante globale du filtre hyperfréquence est dans le cas d'un tel filtre égale à $2F_0$.

[0050] La figure 6 présente une courbe caractérisant les performances typiques d'un filtre coupe-bande à résonateurs de type quart d'onde connu de l'état de la technique.

[0051] D'une manière similaire à la courbe présentée par la figure 5 décrite ci-dessus, la courbe illustrée par la figure 6 est représentée dans un repère cartésien dont l'axe des ordonnées porte les pertes d'insertion, par exemple exprimées en dB, et l'axe des abscisses porte les fréquences. La courbe représentée est caractéristique d'un filtre coupe-bande dont la bande coupée est dans l'exemple illustré une bande étroite autour d'une fréquence de résonance fondamentale F_0 . Ainsi que cela

est décrit précédemment, un tel filtre hyperfréquence présente une fréquence de résonance fondamentale F_0 , et des fréquences de résonance supérieures égales aux multiples impairs de la fréquence de résonance fondamentale F_0 , soit $3F_0$, $5F_0$, etc. Ainsi la fréquence de résonance F_{res2} délimitant la bande passante globale du filtre hyperfréquence est dans le cas d'un tel filtre égale à $3F_0$. Un filtre hyperfréquence comprenant des résonateurs quart d'onde présente ainsi des performances avantageuses par rapport à un filtre hyperfréquence comprenant des résonateurs demi-onde, notamment en terme de bande passante globale et de rapport F_{res2}/F_0 .

[0052] La figure 7 présente un schéma illustrant de manière simplifiée la structure d'un résonateur SIR de type quart d'onde, en elle-même connue de l'état de la technique.

[0053] Un résonateur SIR 703, de type quart d'onde à deux sections dans l'exemple illustré par la figure, comprend typiquement un tronçon de ligne de haute impédance Z_{c1} d'une longueur déterminée, directement relié à un tronçon de ligne de basse impédance Z_{c2} . Le tronçon de ligne de haute impédance peut être relié à une électrode de masse. D'une manière plus générale, un résonateur SIR comprend une pluralité de tronçons, c'est-à-dire au moins un tronçon de haute impédance et au moins un tronçon de basse impédance. Par exemple, un résonateur SIR de type demi-onde, non représenté sur les figures, comprend un premier tronçon de basse impédance directement relié à un tronçon de haute impédance au niveau d'une première extrémité de ce dernier, la seconde extrémité de ce dernier étant directement reliée à un second tronçon de basse impédance.

[0054] Il est proposé selon la présente invention, une structure avantageuse d'un résonateur SIR tel qu'illustré par la figure 7.

[0055] La figure 8 présente un schéma illustrant la structure d'une cellule pour filtre hyperfréquence comprenant un résonateur selon un exemple de réalisation de la présente invention.

[0056] Une cellule 800 peut être réalisée sur un substrat 810, et comprend une ligne de transmission 801 comportant une entrée E et une sortie S entre lesquelles circule un signal hyperfréquence. La cellule 800 comprend également un résonateur SIR 803 selon un exemple de réalisation de l'invention, couplé à la ligne de transmission 801. Un filtre hyperfréquence peut être formé par une cellule 800 ou par la mise en série d'une pluralité de cellules 800. Le résonateur SIR 803 et la ligne de transmission 801 peuvent être réalisés sur un substrat 810, par exemple sous la forme de lignes de transmission planaires de type ruban ou micro-ruban.

[0057] Le résonateur SIR 803 comprend, dans l'exemple illustré par la figure 8, une ligne à haute impédance caractéristique 8031 de longueur déterminée, et une ligne à basse impédance caractéristique 8033.

[0058] La ligne de basse impédance caractéristique 8033 peut avantageusement être formée par un tronçon de ligne dit « stub », par exemple un stub de type papillon

ainsi que dans l'exemple illustré par la figure. Une telle structure permet notamment d'obtenir une faible impédance dans un encombrement relativement réduit.

[0059] Selon une spécificité de la présente invention, la ligne de haute impédance 8031 peut comprendre une première coupure de ligne 8031A, typiquement une absence de métallisation, séparant la ligne de haute impédance 8031 en deux tronçons de ligne non connectés électriquement. Le résonateur 803 comprend en outre un premier fil de liaison 8031B d'une longueur déterminée assurant une impédance déterminée au niveau de la première coupure de ligne 8031A.

[0060] L'emplacement de la première coupure de ligne 8031A peut être choisi de manière à coïncider avec la zone de plus forte amplitude de courant de la ligne à haute impédance caractéristique 8031 à la première fréquence de résonance, c'est-à-dire sensiblement du côté du court-circuit 8030 et avec la zone de plus faible intensité de courant à la seconde fréquence de résonance, en présence de la première coupure de ligne 8031A et du premier fil de liaison 8031B.

[0061] Par exemple, la première coupure de ligne 8031A peut être réalisée sensiblement à mi-longueur de la ligne à haute impédance caractéristique 8031.

[0062] La première coupure de ligne 8031A est réalisée sensiblement au tiers de la longueur totale du résonateur hyperfréquence 803, partant du côté d'une extrémité de la ligne de haute impédance caractéristique 8031 opposée à l'extrémité de la ligne de haute impédance caractéristique 8031 située du côté de la ligne de basse impédance caractéristique 8033. En particulier, pour obtenir une bande passante la plus large possible, au-dessus de la bande coupée, on introduit une coupure et un fil dans le résonateur à une position qui correspond à un maximum de courant, encore appelé ventre de courant, pour la première résonance et à un minimum de courant, encore appelé noeud de courant, pour la seconde résonance. Cette position correspond approximativement à 1/3 de la longueur totale du résonateur à partir du court-circuit 8030 ;

[0063] Avantageusement, le résonateur 803 peut comprendre une deuxième coupure de ligne 8033A. Dans ce cas, la première coupure de ligne 8031A peut être décalée vers le court-circuit 8030 de façon à localiser les deux coupures de ligne 8031A, 8033A dans la zone qui correspond à la plus forte amplitude de courant à la première fréquence de résonance et à la plus faible amplitude de courant à la seconde fréquence de résonance. Etant donné qu'en pratique la longueur maximale utilisable pour les fils est limitée par des contraintes de fiabilité, telles que des contraintes de tenues aux chocs, aux vibrations, en puissance, etc., et des contraintes de réalisation, telles que la nécessité d'un couplage, il peut être avantageux de recourir à une pluralité de paires de fils de liaison / coupures de ligne, par exemple deux ou trois. Il est observé qu'une deuxième paire coupure de ligne / fil de liaison apporte plus de possibilités pour optimiser la structure et permet d'obtenir de meilleurs résultats en

matière d'adaptation d'impédance. Suivant les cas, la seconde coupure de ligne 8033A peut être située au niveau de la jonction entre la ligne à haute impédance caractéristique 8031 et la ligne à basse impédance caractéristique 8033. D'une manière similaire, un deuxième fil de liaison 8033B assure la liaison électrique pour le passage du signal entre la ligne à haute impédance caractéristique 8031 et la ligne à basse impédance caractéristique 8033.

[0064] Avantageusement, le résonateur 803 peut comprendre un via assurant une liaison électrique entre une plage disposée à une extrémité de la ligne à haute impédance caractéristique, et une électrode de référence située par exemple sur la face inférieure du substrat 810.

[0065] Les dimensions optimales des lignes à haute impédance 8031 et à basse impédance caractéristique 8033, des coupures de ligne 8031A, 8033A et des fils de liaison 8031B, 8033B peuvent être déterminées par conception afin de satisfaire aux exigences de performances du filtre.

[0066] Un avantage procuré par les fils de liaison 8031B, 8033B est lié au fait que ceux-ci permettent non seulement d'optimiser la réponse de la cellule 800 comprenant le résonateur 803, mais également d'autoriser un ajustement en production des caractéristiques de réponse de la cellule 800 de manière relativement simple. Il suffit en effet d'adapter par exemple la longueur du premier fil de liaison 8031B pour ajuster l'impédance par exemple de la ligne à haute impédance caractéristique 8031 en conséquence. Ceci peut être réalisé au cours d'un procédé de production d'un filtre hyperfréquence, lors d'une étape prévue à cet effet, cette étape pouvant faire suite aux étapes de réalisation des différents composants du filtre, ainsi que cela est décrit ci-après en référence à la figure 12. Un avantage procuré par ce mode de réalisation est qu'il permet d'alléger les tolérances de fabrication pour la réalisation des éléments constituant le filtre hyperfréquence. Un autre avantage est qu'il permet de réaliser différents filtres hyperfréquences, présentant des caractéristiques de performances distinctes, sur une base matérielle commune, les caractéristiques de performances distinctes pouvant être obtenues à partir de la base commune par des choix appropriés des fils de liaison.

[0067] Le niveau requis de réjection pour un filtre hyperfréquence comprenant une pluralité de cellules 800 peut être obtenu en multipliant le nombre de cellules 800 et en ajustant leurs fréquences de résonance de façon appropriée. D'une manière similaire, une pluralité de bandes coupées, pour un filtre coupe-bande, peuvent être obtenues par une mise en série d'une pluralité de cellules 800.

[0068] La figure 9 présente un schéma illustrant de manière simplifiée un filtre hyperfréquence comprenant une pluralité de cellules pour filtre hyperfréquence suivant un mode de réalisation alternatif de la présente invention.

[0069] Un filtre hyperfréquence 900 tel que présenté dans l'exemple illustré par la figure 9 peut comprendre

une ligne de transmission 901 comprenant une entrée E et une sortie S, en parallèle de laquelle sont disposés une pluralité de résonateurs 903, apparentés au type quart d'onde et au nombre de trois dans l'exemple illustré par la figure, couplés à la ligne de transmission 901, tous ces éléments pouvant être réalisés sur la surface supérieure d'un substrat 910.

[0070] Les résonateurs 903 sont dans cet exemple similaires aux résonateurs 803 compris dans la cellule pour filtre hyperfréquence 800 décrite précédemment en référence à la figure 8, à la différence que les lignes à haute impédance formées par des stubs dans l'exemple de réalisation illustré par la figure 8, peuvent être remplacés par des condensateurs 9033, par exemple des composants discrets de type CMS. Par ailleurs, chaque résonateur 903 comprend, à l'instar de l'exemple illustré par la figure 8, une ligne de haute impédance 9031 comprenant une première coupure de ligne 9031A, un premier fil de liaison 9031B assurant le passage du signal de part et d'autre de la première coupure de ligne 9031A. Chaque condensateur 9033 peut par exemple être disposé sur une plage de connexion formée par une surface de métallisation, et comprendre une première armature soudée à un second fil de liaison 9033B, et une deuxième armature reliée par exemple au moyen d'un via 9030 à une électrode de référence, par exemple une masse formée sur la face inférieure du substrat 910.

[0071] Avantageusement, une structure multicouches peut être réalisée par des surfaces de métallisation sur et dans le substrat 910. Ainsi, les condensateurs 9033 peuvent comprendre des armatures formées par des surfaces de métallisation en regard, situées sur différentes couches de la structure multicouches, une des armatures pouvant être formée sur la surface du substrat 910, et reliée au second fil de liaison 9033B.

[0072] Avantageusement, il est possible, dans tous les exemples de structures décrits précédemment, de renforcer le couplage entre la ligne de transmission et la ligne à haute impédance des résonateurs SIR, par exemple en superposant ces lignes dans une structure multicouches, ou bien en subdivisant ces lignes et en les imbriquant, à l'instar d'une structure d'un coupleur dit coupleur de Lange.

[0073] Une structure de filtre hyperfréquences peut comprendre une pluralité de cellules selon divers exemples de réalisation décrits précédemment.

[0074] La figure 10 présente un schéma illustrant la structure d'un filtre hyperfréquence coupe-bande comprenant une pluralité de résonateurs selon un exemple de réalisation de la présente invention.

[0075] Dans l'exemple illustré par la figure 10, un filtre hyperfréquence 1000 peut comprendre une pluralité, six dans l'exemple illustré, de résonateurs 1003 selon l'un des modes de réalisation décrits précédemment, couplés à une ligne de transmission 1001 comprenant une entrée E et une sortie S, ces éléments étant réalisés en surface d'un substrat 1010. La ligne de transmission 1001 peut présenter une structure en zigzag, c'est-à-dire

comportant une pluralité de tronçons de ligne perpendiculaires les uns aux autres. Les longueurs et les impédances caractéristiques des différents tronçons de ligne peuvent être ajustées en fonction des spécifications de performances du filtre hyperfréquence 1000. L'échelle est présentée en figure 10 : les tronçons peuvent avoir typiquement des longueurs de l'ordre de 3 millimètres, et la grande dimension de l'ensemble de la structure du filtre hyperfréquence peut être de l'ordre du centimètre : il s'agit là de dimensions fournies à titre d'exemples non limitatifs de la présente invention.

[0076] La figure 11 présente des courbes caractérisant les performances d'un exemple de filtre hyperfréquence coupe-bande tel qu'illustré par la figure 10.

[0077] En référence à la figure 11, une première courbe 1101 représente les pertes d'insertion du filtre hyperfréquence, par exemple exprimées en dB, en fonction de la fréquence portée en abscisses, et une deuxième courbe 1103 représente l'adaptation du filtre hyperfréquence, par exemple exprimée en dB, en fonction de la fréquence.

[0078] Ainsi que cela est illustré par les courbes 1101 et 1103, une telle structure de filtre hyperfréquence permet d'obtenir une fréquence de résonance fondamentale F0 de l'ordre de 5 GHz, et une première fréquence de résonance Fres2 supérieure à 25 GHz. La fréquence de résonance fondamentale F0 peut être variée grâce à l'ajustement des fils de liaison compris dans les résonateurs. Lorsqu'une paire coupure de ligne / fil de liaison coïncide avec un minimum d'amplitude de courant à la seconde fréquence de résonance et un maximum d'amplitude de courant à la première fréquence de résonance alors la longueur du fil de liaison permet un ajustement de la fréquence de résonance fondamentale F0 avec une efficacité maximale et une modification très faible de la première fréquence de résonance Fres2.

[0079] La figure 12 présente un diagramme illustrant un procédé de réalisation d'un résonateur hyperfréquence, dans un exemple de réalisation de la présente invention.

[0080] La réalisation d'un résonateur hyperfréquence selon un des modes de réalisation décrits précédemment, et par extension d'une cellule pour filtre hyperfréquence ou une structure de filtre hyperfréquence, peut comprendre une première étape 1201 de réalisation des principaux constituants, c'est-à-dire des lignes de haute et de basse impédance caractéristique, des coupures de lignes, de la ligne de transmission, des via et électrodes de référence le cas échéant. La première étape 1201 peut être réalisée via des techniques de réalisation en elles-mêmes connues, par exemple par des métallisations sur un substrat, par exemple selon des technologies de type ruban ou micro-ruban, possiblement formant des structures multicouches ainsi que cela est décrit précédemment.

[0081] La première étape 1201 peut être suivie d'une deuxième étape 1203 de caractérisation des performances de la structure du résonateur hyperfréquence ou de la cellule ou du filtre ainsi obtenue. Cette structure n'étant

pas fonctionnelle au terme de la première étape 1201, les fils de liaison n'étant alors pas encore placés, la caractérisation des performances peut être réalisée au moyen d'une caractérisation dimensionnelle.

[0082] La deuxième étape 1203 peut alors être suivie d'une troisième étape 1205 de réglage au cours de laquelle les spécifications des fils de liaisons peuvent être définies, en fonction des résultats de la caractérisation effectuée lors de la deuxième étape 1203 décrite ci-dessus, et en fonction des spécifications de performances escomptées.

[0083] Une étape de réalisation du câblage 1207 peut alors consister à réaliser le câblage final du ou des filtres hyperfréquence avec les dimensions optimales telles que déterminées aux étapes précédentes.

Revendications

1. Résonateur hyperfréquence à saut d'impédance (803), comprenant au moins une ligne à haute impédance caractéristique (8031) d'une longueur déterminée et une ligne de basse impédance caractéristique (8033), **caractérisé en ce que** au moins la ligne de haute impédance caractéristique (8031) comprend une première coupure de ligne (8031A), un premier fil de liaison (8031B) d'une longueur déterminée assurant une impédance déterminée au niveau de la première coupure de ligne (8031A), ladite première coupure de ligne (8031A) étant réalisée sensiblement au tiers de la longueur totale du résonateur hyperfréquence (803) partant du côté d'une extrémité de la ligne de haute impédance caractéristique (8031) opposée à l'extrémité de la ligne de haute impédance caractéristique (8031) située du côté de la ligne de basse impédance caractéristique (8033).
2. Résonateur hyperfréquence (803) suivant la revendication 1, **caractérisé en ce qu'il** comprend une deuxième coupure de ligne (8033A), un deuxième fil de liaison (8033B) d'une deuxième impédance déterminée assurant une liaison électrique pour le passage du signal de part et d'autre de la deuxième coupure de ligne (8033A).
3. Résonateur hyperfréquence (803) suivant la revendication 2, **caractérisé en ce que** la deuxième coupure de ligne (8033A) est située entre une ligne à haute impédance caractéristique (8031) et une ligne à basse impédance caractéristique (8033).
4. Résonateur hyperfréquence (803) suivant la revendication 1, **caractérisé en ce que** ladite première coupure de ligne (8031A) est réalisée sensiblement à mi-longueur de la ligne à haute impédance caractéristique (8031).
5. Résonateur hyperfréquence (803) suivant l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** ladite au moins une ligne à haute impédance caractéristique (8031) et une ligne de basse impédance caractéristique (8033) sont réalisées sous la forme de pistes métalliques imprimées sur un substrat (810), sous la forme de tronçons de lignes planaires de type ruban ou micro-ruban.
6. Résonateur hyperfréquence (803) suivant la revendication 5, **caractérisé en ce que** la ligne de basse impédance caractéristique (8033) est formée par un stub de type papillon, également appelé stub radial.
7. Résonateur hyperfréquence (803, 903) suivant la revendication 5, **caractérisé en ce que** la ligne de basse impédance caractéristique (8033) est formée par un condensateur (9033) monté en surface du substrat (810, 910), dont une première armature est connectée audit deuxième fil de liaison (8033B, 9033B), et une seconde armature est reliée à une électrode de référence.
8. Résonateur hyperfréquence (803, 903) suivant la revendication 7, **caractérisé en ce que** la ligne de basse impédance caractéristique (8033), la ligne de haute impédance caractéristique (8031, 9031) et le condensateur (9033) sont situés sur une face supérieure du substrat (810, 910), l'électrode de référence étant une électrode de masse située sur une face inférieure du substrat (810, 910), ladite seconde armature du condensateur étant connectée à l'électrode de référence au moyen d'un via (9030) traversant le substrat (810, 910).
9. Résonateur hyperfréquence (803, 903) suivant la revendication 8, **caractérisé en ce qu'il** est réalisé dans une structure de type multicouches réalisée dans le substrat (810, 910), le condensateur étant intégré à la structure multicouches.
10. Filtre hyperfréquence (200, 900, 1000) de type réjecteur de bande, **caractérisé en ce qu'il** comprend une ligne de transmission (201, 901, 1001), couplée à une pluralité de résonateurs hyperfréquence (203, 903, 1003) suivant l'une quelconque des revendications précédentes.
11. Procédé de réalisation d'un résonateur hyperfréquence (803, 903) suivant l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** comprend un enchaînement d'au moins les étapes suivantes :
 - une première étape (1201) de réalisation d'une structure comprenant ladite au moins une ligne de haute impédance caractéristique (8031), ladite au moins une ligne de basse impédance

caractéristique (8033), et au moins une coupure de ligne (8031A),

- une deuxième étape (1203) de caractérisation des performances de la structure réalisée à la première étape (1201), 5
- une troisième étape (1205) de réglage au cours de laquelle les spécifications d'au moins un fils de liaison (8031B, 8033B) sont définies en fonction des résultats de la caractérisation effectuée lors de la deuxième étape (1203) et en fonction des spécifications de performances du résonateur hyperfréquence (803, 903) escomptées, 10
- une étape de réalisation du câblage (1207) lors de laquelle est réalisé le câblage des fils de liaison suivant les spécifications définies à la troisième étape (1205) sur la structure réalisée à la première étape (1201). 15

20

25

30

35

40

45

50

55

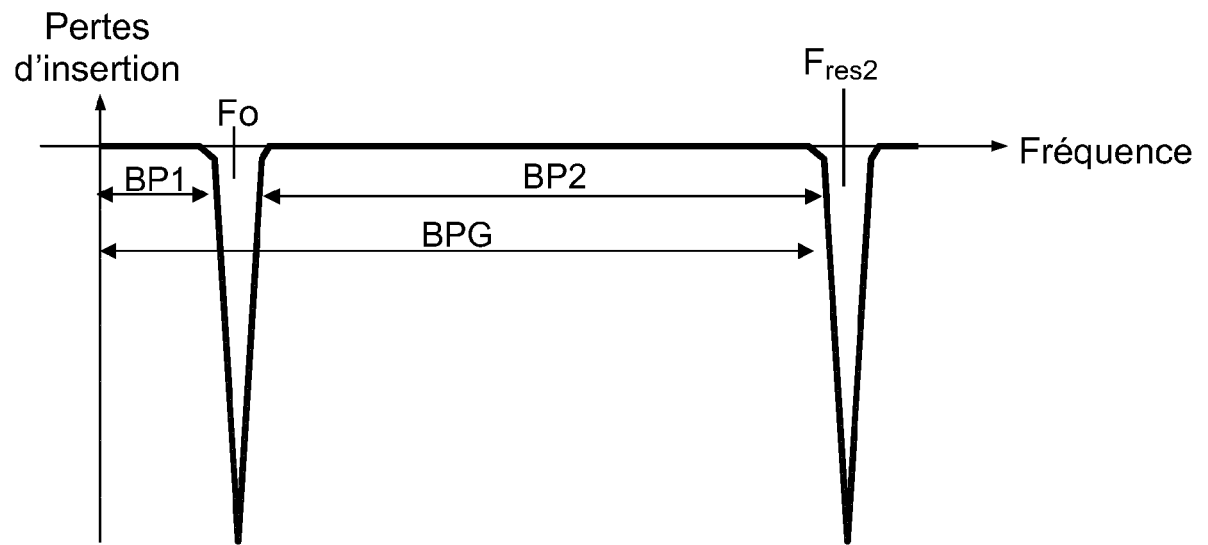


FIG.1

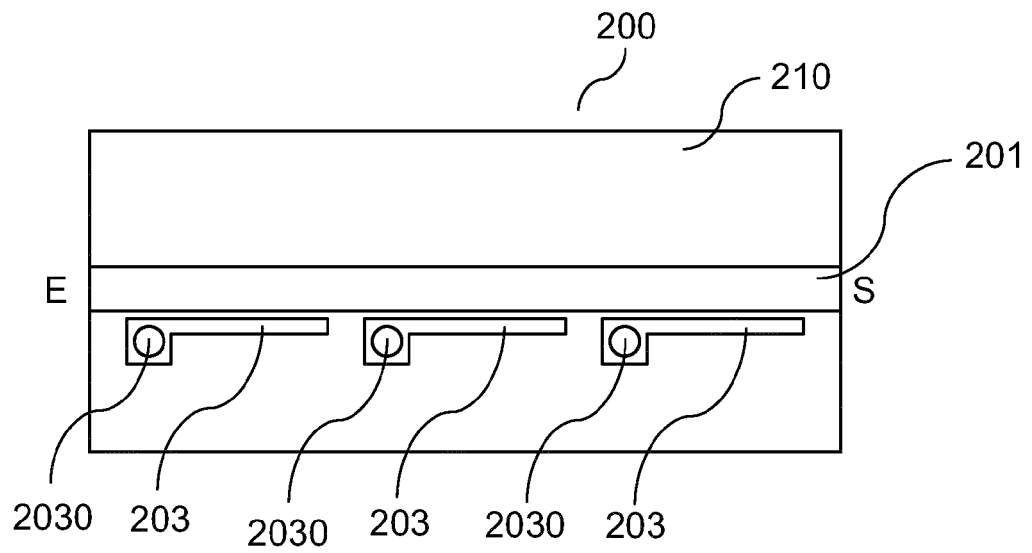


FIG.2

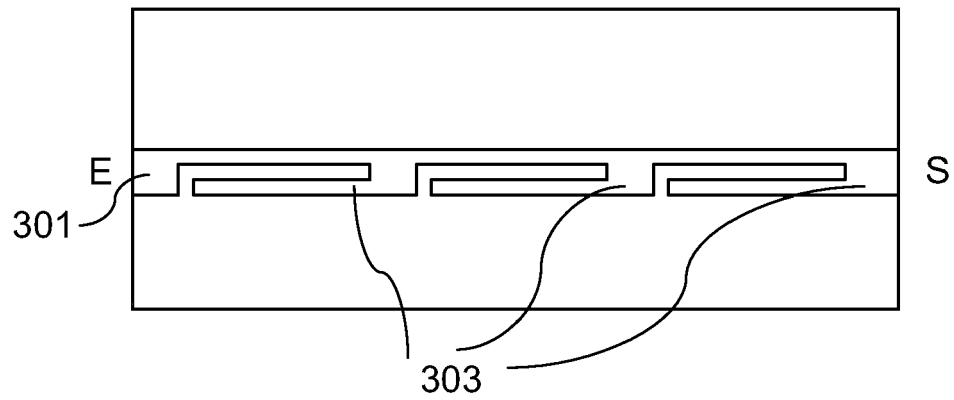


FIG.3

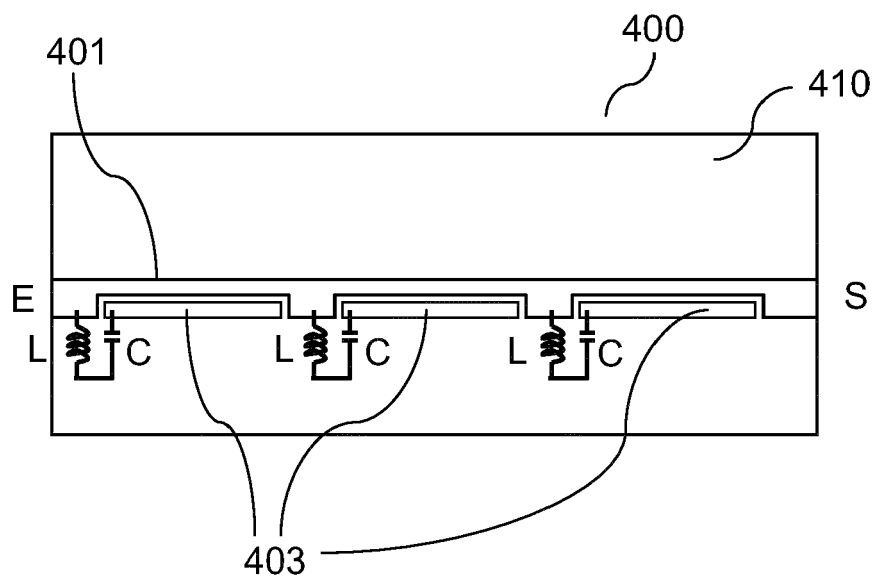


FIG.4

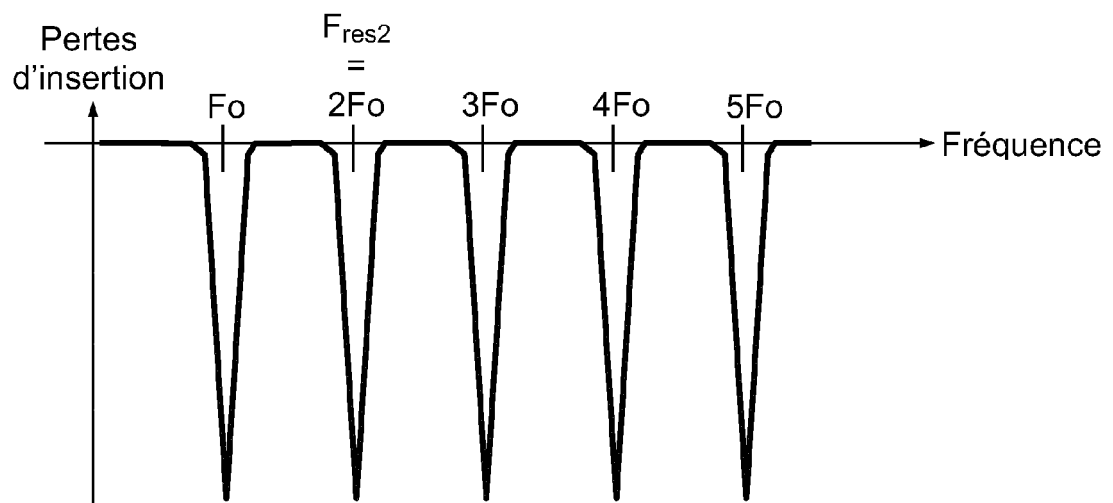


FIG.5

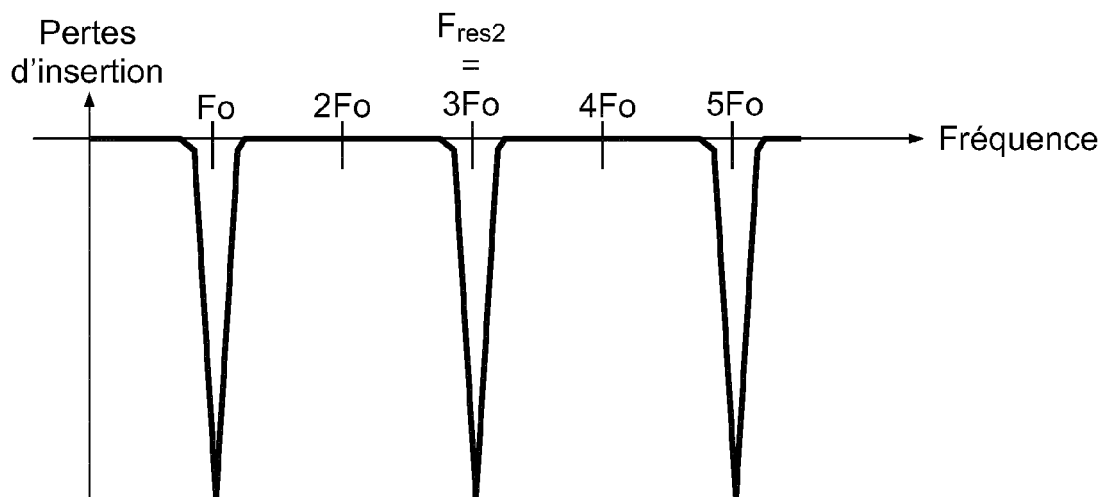
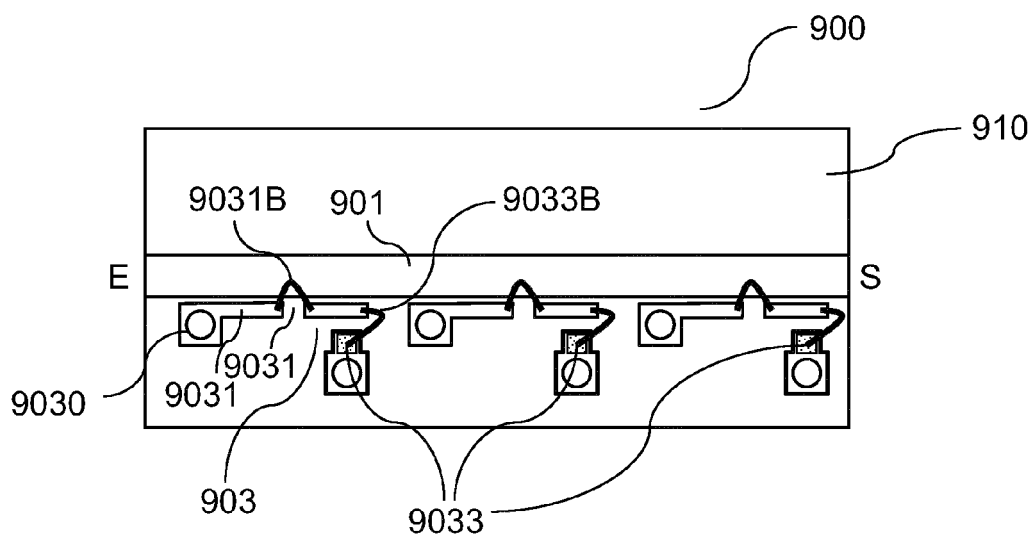
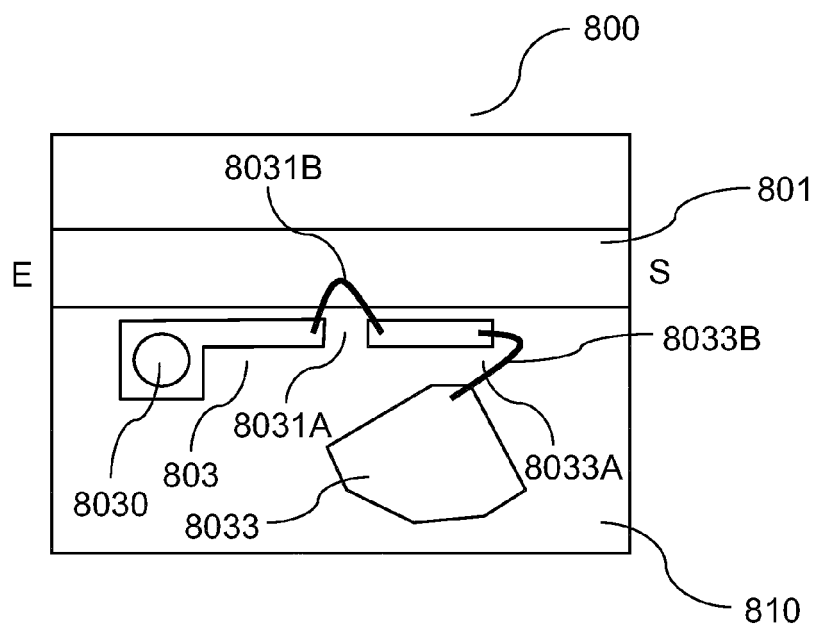
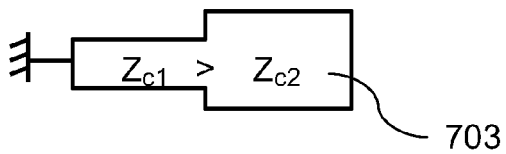


FIG.6



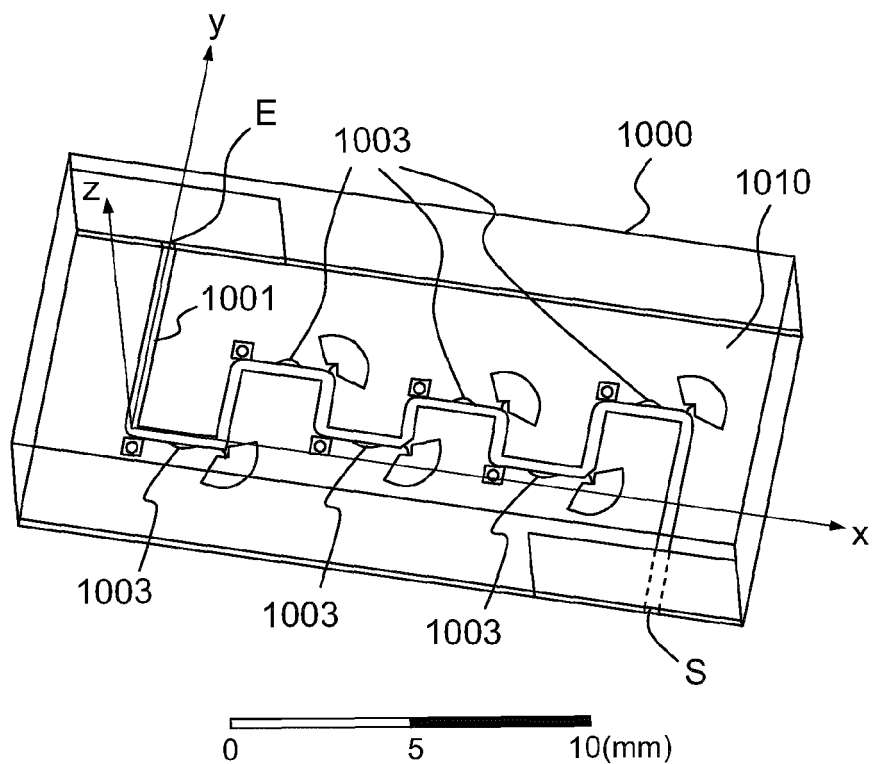


FIG.10

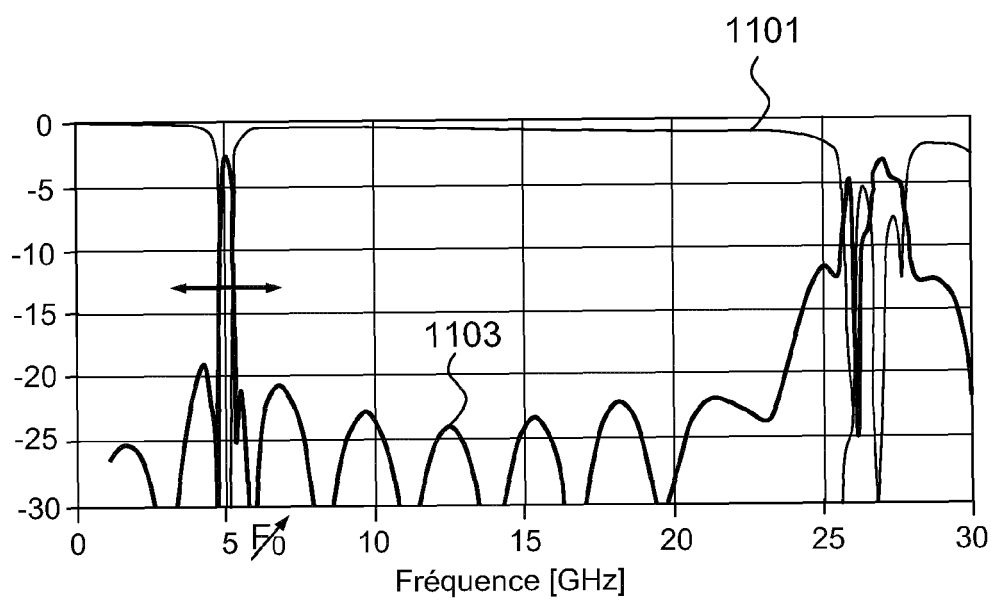


FIG.11

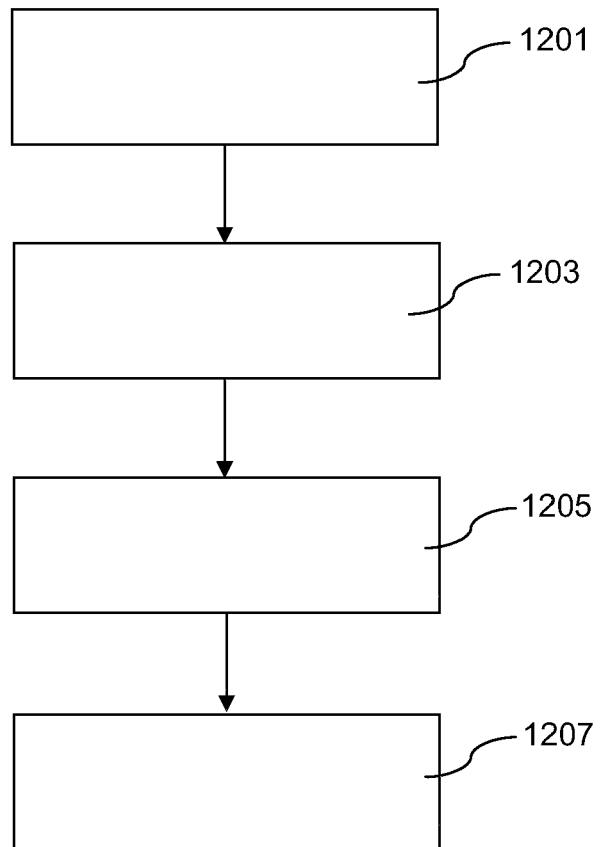


FIG.12



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 13 17 5860

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
A	CHIN-HSUNG CHEN ET AL: "Folded Finite-Ground-Width CPW Quarter-Wave Stepped Impedance Resonator Filters", MICROWAVE CONFERENCE, 2007. APMC 2007. ASIA-PACIFIC, IEEE, PISCATAWAY, NJ, USA, 11 décembre 2007 (2007-12-11), pages 1-4, XP031280240, ISBN: 978-1-4244-0748-4 * page 2, colonne de droite; figure 2 * -----	1-11	INV. H01P1/203 H01P7/08
A	ALEXANDER STARK ET AL: "A Packaged Ultrawideband Filter with High Stopband Rejection [Application Notes]", IEEE MICROWAVE MAGAZINE, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 11, no. 5, 1 août 2010 (2010-08-01), pages 110-117, XP011312817, ISSN: 1527-3342 * figures 4,5 * -----	1-11	
A	US 2006/250199 A1 (OHWADA TETSU [JP] ET AL) 9 novembre 2006 (2006-11-09) * abrégé; figures 1, 3 * -----	1-11	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC) H01P
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche Munich		Date d'achèvement de la recherche 6 décembre 2013	Examineur La Casta Muñoa, S
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

06-12-2013

EPO FORM P0460

18